

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
(ГОУ ВПО «Уральский государственный университет им А.М. Горького»)

Утверждаю  
Проректор по научной работе

« \_\_\_\_\_ » 2011 г.

**ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ**  
**ПОЛИМЕРНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ**  
**(Часть I)**  
**ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ**  
**ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ НАНОКОМПОЗИТОВ**

Разработчик: д.х.н., проф. С.А. Вшивков

## 1. Аннотация.

1.1. Современного специалиста в области получения и использования новых материалов невозможно представить без эрудиции в мире нанотехнологий, в особенности без знаний о полимерсодержащих наноматериалах. Не зря современную эпоху называют веком полимеров и композиционных материалов. По этой причине в круг рассмотрения данной темы включены такие разделы, как: механизм взаимодействия между компонентами и классификация полимерных композитов; ненасыщенные полиэфирные смолы, смолы на основе сложных диэфиров, полибутадиеновые и эпоксидные смолы, термостойкие смолы, стеклонаполненные композиционные материалы, высокосиликаты и кварц. борные и другие высокопрочные волокна. углеродные и арамидные волокна. примеры современных полимерсодержащих наноматериалов,

Для лучшего усвоения данной дисциплины необходимы знания основ органической химии, физикохимии полимеров, химии высокомолекулярных соединений, коллоидной химии, физико-химических основ технологии синтеза и переработки полимеров..

Общая трудоемкость темы составляет 29 часов, в том числе:  
обязательной аудиторной нагрузки обучающегося 18 часов;  
учебная нагрузка в дистанционной форме обучения 0 часов  
самостоятельной работы обучающегося 11 часов.

1.2. Цель преподавания настоящей дисциплины: показать неограниченные возможности, заложенные в процессах искусственного изготовления материалов в идее композиционных, для снижения массы конструкций, придания многофункциональности и новых свойств композиции и каждому ее элементу, уменьшения энерго- и материалоемкости производства.

Задачи дисциплины:

Расширить знания обучающихся в области полимерсодержащих композиционных материалов, преподав им сведения о составе, строении и характерных свойствах различных видов связующих и армирующих компонентов, методах изучения и оценки их взаимодействия в композициях. Выработать у обучающихся понимание взаимосвязи между химическим строением и свойствами компонентов. Показать тенденции развития науки об анизотропных композиционных наноматериалах и новые направления в технологии их производства.

Изучение данной дисциплины даст возможность обучающимся самостоятельно пополнять багаж знаний в области нанотехнологий.

Для освоения дисциплины слушателям необходимо прослушать лекции, после этого внимательно изучить презентационные материалы, найти и изучить в Интернете необходимые ссылки для углубления, расширения, систематизации знаний. После этого обучающиеся отвечают на вопросы для самоконтроля и переходят к выполнению индивидуального задания по контролю полученных знаний (тестов).

В качестве метода контроля полученных знаний используются тесты. Для ответа на тестовые вопросы (выбор правильного варианта ответа) необходимо использовать лекционные материалы и презентацию. Зачитывается освоение данной темы при правильном ответе не менее чем на 80% тестовых вопросов. Приведенная в списке литература также может быть использована в случае необходимости для еще более глубокого изучения темы, например, если слушателем выбрана тема для выпускной работы, базирующаяся на данной теме.

1.3. Результатом освоения дисциплины является овладение обучающимися знаниями: основными понятиями и законами физико-химии материалов и наноструктур, различными методами направленного создания полимерсодержащих наноматериалов с заданными свойствами,

умениями и навыками: владение экспериментальными методами определения физико-химических свойств соединений, синтеза связующих и получения армирующих компонентов нанокомпозиций.

№ п/п	Наименование результата обучения
1.	Овладение понятиями и законами физико-химии исходных материалов и нанокомпозиций на их основе, а также методами оценки взаимодействия между компонентами.
2.	Овладение различными методами направленного синтеза связующих с заданными свойствами.
3.	Овладение экспериментальными методами определения физико-химических свойств композиций.

1.4. По данной дисциплине требуется учебная аудитория, оборудованная стандартным компьютером или ноутбуком с мультимедийным проектором, экраном и доской. Для прохождения контрольного мероприятия необходим компьютер с выходом в Интернет.

## **2. Учебно-методические материалы выбранных форм обучения.**

- Конспект курса лекций. (Ссылки на номера слайдов презентации вставляются в текст лекции, если есть ссылки на используемые заимствованные иллюстрации и фрагменты, то их также необходимо вставить в текст или после него, см. примеры ниже).

В начале курса дается список основной и дополнительной литературы по теме дисциплины с целью ее использования при самостоятельной работе слушателей (слайды 1 - 3).

Затем рассматриваются определения и классификация полимерных композитов (слайд 4). *Композиционными* называют материалы, полученные из двух или более компонентов и состоящие из двух или более фаз. Один компонент (*матрица*) образует непрерывную фазу, другой является

*наполнителем.* Композиционные материалы являются гетерогенными системами и могут быть разделены на три основных класса: 1. Матричные системы, состоящие из непрерывной фазы (матрицы) и дисперсной фазы (дискретных частиц). 2. Композиции с волокнистыми наполнителями. 3. Композиции, имеющие взаимопроникающую структуру двух или более непрерывных фаз.

Преимущества гетерогенных полимерных композиций (слайд 5) по сравнению с гомогенными полимерами: повышенная жесткость, прочность, стабильность размеров, повышенная работа разрушения и ударная прочность, повышенная теплостойкость. пониженная газо- и паропроницаемость, регулируемые электрические свойства, пониженная стоимость. Нельзя достичь сочетания всех этих свойств в одной композиции. Широкое варьирование свойств композиций может быть достигнуто только изменением морфологии и прочности сцепления между фазами.

Для равномерной передачи внешнего воздействия через матрицу и распределения его на все частицы наполнителя необходимо прочное сцепление на границе матрица – наполнитель, достигаемое за счет адсорбции или химического взаимодействия. Существование такого сцепления между несовмещающимися компонентами в гетерогенных пластиках отличает их от механических смесей.

Рассматриваются (слайд 6) виды матриц: *металлическая, керамическая, углеродная.* Наполнитель представлен в виде частиц и волокон, обладающих существенно более высокими физико – механическими свойствами, чем матрица. Частицы обычно называют дисперсным наполнителем, они имеют неопределенную, кубическую, шарообразную или чешуйчатую форму с размерами от долей мм до микронных и наноразмерных величин. *Инертный* наполнитель практически не изменяет свойства композиции. *Активный* наполнитель существенно изменяет свойства композиции. Например, волокна имеют упругопрочностные характеристики которых на два порядка

выше свойств матрицы. Они могут быть непрерывными и короткими. Диаметр тонких волокон 5-15 мкм, толстых (борных или карбидокремниевых) – 60-100 мкм. Длина коротких волокон от 1-2 до 20-50 мм. *Название композитов отвечает природе волокон: стекло-, угле-, органо-, борпластики и др. Для гибридных вариантов – стеклоуглепластики, органоборопластики и пр.*

Ориентация волокон определяет переход от наполненных пластмасс к *армированным пластикам*. Это система ориентированных волокон, скрепленных полимерной матрицы. К *пластикам* относят материалы, неизменным компонентом которых является какой – либо полимер, находящийся в период формования изделий в пластичном или вязкотекучем состоянии, а при эксплуатации – в стеклообразном или кристаллическом. Пластики могут быть гомогенными или гетерогенными. Пластики делят на термопласты и реактопласты.

**Классификация композитов** (слайд 7): По природе матрицы: термореактивная, термопластичная, гибридная. По природе и форме наполнителя: *органические и неорганические вещества природного или искусственного происхождения*. Выделяют (слайд 8) дисперсно-наполненные композиты и материалы на основе *коротких и непрерывных волокон*. По структуре полимерных композитов: матричная, слоистая (двухмерная) и объемная, градиентные материалы с переменной структурой. По степени ориентации наполнителя, анизотропии материала. По методам изготовления материалов и изделий (слайд 9): *одностадийные и двухстадийные методы*. . По количеству компонентов: *двухкомпонентные, трехкомпонентные, поливолоконные гибридные, полиматричные структуры*. По объему содержания наполнителя: *с неориентированной структурой, с ориентированной структурой, высоко- и предельно наполненные органоволокониты*. По функциональности: *однофункциональные, многофункциональные, способные к самодиагностированию,*

*многофункциональные, способные к самодиагностированию и самоадаптации.*

Рассматриваются (слайды 10, 11) два этапа при конструировании композиционных пластиком: 1-расчетно – аналитический, 2 – экспериментально – технологический; требуемые механические характеристики композиционного пластика, выбор компонентов и схемы армирования.

***Микромеханические аспекты взаимодействия компонентов ПКМ*** (слайд 12-32). Рассматривается механизм передачи напряжений от матрицы к наполнителю в зависимости от его конфигурации. Основная причина упрочнения – изменение направления роста трещин при их соприкосновении с твердыми частицами наполнителя. Наиболее вероятное направление роста трещины перпендикулярно направлению действия приложенной силы. Если в этом направлении находится частица наполнителя, то трещина должна менять свое направление по касательной к поверхности частицы. Следовательно, если частицы имеют форму волокон, они вытянуты в направлении действующей силы. Распространение трещины вдоль частиц наполнителя исключается. Обсуждается зависимость прочности ПКМ от концентрации наполнителя, формы их частиц, способов деформирования.

***Гибридные и градиентные армированные пластики с регулируемыми механическими свойствами*** (слайд 33-38). Рассматривается создание гибридных полимерных композиционных материалов, совмещающих два и более типов волокон - стеклянных, органических, углеродных и борных, что является перспективным направлением развития современной техники, поскольку обуславливает расширение возможности создания материалов с заданными свойствами. Наиболее существенным фактором, влияющим на характер механического поведения ГАП, в особенности при растяжении, является величина предельных деформаций волокон, армирующих материал. К числу ГАП, в которых сочетаются волокна, имеющие близкие

деформативные характеристики, относятся органостеклопластики и углеборопластики. Механическое поведение таких материалов при растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге в основном соответствует принципу аддитивности, т. е. «правилу смесей».

ГАП на основе сочетания стеклянных и углеродных волокон обладают более высоким модулем упругости по сравнению со стеклопластиком, при этом сохраняются удельные характеристики прочности материалов при сжатии и незначительно снижаются при растяжении; увеличивается работа разрушения образцов; добавление борных волокон в стеклопластики позволяет существенно повысить их модуль упругости, при этом сохраняется (или повышается) прочность материалов при сжатии.

**«Интеллектуальные» композиты** (слайд 39-42). В конце XX в. в материаловедении появился новый термин – «интеллектуальные» материалы. Принятое понятие «интеллектуального» материала определяет его как конструкционный материал, способный к самодиагностированию и самоадаптации. Эти материалы должны уметь распознавать возникающую ситуацию (сенсорная функция), анализировать ее и принимать решение (процессорная функция), а также возбуждать и осуществлять необходимую реакцию (исполнительная функция). Основным требованием, предъявляемым к сенсорным элементам таких композитов, является чувствительность к механическому воздействию и способность распределяться по всему объему. Идеальный сенсор должен превращать деформацию в электрические сигналы. В этом смысле перспективны токопроводящие волокна, которые можно внедрять в композиты в процессе их формования. К ним можно отнести константановую или нихромовую проволоку, токопроводящие углеродные или борные волокна, пьезоэлектрические пленки из поливинилиденфторида и др..

Действующим принципом исполнительных (адаптационных) механизмов является деформация, создающаяся в результате каких-либо явлений —



нагрев, подача электрического сигнала и др. Для активации материала наиболее приемлемы пьезоэлектрический эффект, электро- и магнитострикция и эффект памяти формы. Эти механизмы обеспечивают превращение электрического сигнала в срабатывающую деформацию. Наибольший эффект наблюдается для металлов с памятью формы. Сплав титана и никеля обеспечивает деформацию до 2%. Другим важным показателем исполнительного механизма является его модуль упругости, определяющий возможность создания заданного напряженно-деформированного состояния. Обычно он сопоставим с модулем упругости основного материала.

***Зависимость свойств композиционных пластиков от взаимодействия компонентов*** (слайд 43-45). Взаимное влияние компонентов в межфазной зоне определяется составом композиции и условиями ее формирования. В редких случаях удастся установить функциональную зависимость между механическими характеристиками и взаимодействием. *Выбор схемы расположения волокон* производится на основании данных о распределении силового поля и характере нагружения. *Остаточные напряжения в изделиях* из композиционных материалов влияют на эксплуатационные свойства. Временные температурные, усадочные, диффузионные напряжения исчезают, как только температура, глубина отверждения, степень кристалличности или количество поглощенного вещества будут одинаковыми по объему материала. Механические временные напряжения исчезают после прекращения действия внешнего поля. Рассматриваются методы определения остаточных напряжений.

***Связующие*** (слайд 46-51). Рассматриваются способы получения *ненасыщенных сложных полиэфиров* (полиmaleинаты: гликоль + maleиновая кислота + акриловая кислота, олигоакрилаты, форполимеры: эфиры аллилового спирта с фталевой кислотой), *полибутадиеновых смол*, *эпоксидных смол* (основной компонент – смесь олигомерных продуктов с эпоксидными

группами в концевых звеньях, их получают взаимодействием эпихлоргидрина с двухатомными (реже, полиатомными) спиртами или фенолами с образованием диглицидных оксиэфиров), *термостойких смол*.

***Основные вид наполнителей и армирующих элементов композиционных материалов*** (слайд 52-65). Рассматривается классификация, способы получения и свойства наполнителей. *Первая группа – собственно наполнители*, как правило, в виде частиц ограниченных размеров, введение которых определяет общий комплекс свойств ПКМ, способствует снижению усадки, остаточных напряжений и склонности к растрескиванию. *Вторая группа – это наполнители, оказывающие решающее влияние на прочностные характеристики ПКМ, которые называют армирующими элементами*. Армирующие элементы – это, как правило, волокнистые материалы достаточно больших линейных размеров, воспринимающие основную нагрузку, действующую на ПКМ.

По своей природе наполнители могут подразделяться на органические и неорганические; по агрегатному состоянию – на твердые, жидкие и газообразные; по их роли в композиционном материале – на усиливающие дисперсные и армирующие; по форме частиц – на дисперсные, зернистые, волокнистые и слоистые.

*Дисперсные наполнители* – разнообразные вещества органической и неорганической природы. Как правило, это порошкообразные вещества с различным размером частиц от 2-10 до 200-300 мкм. В последнее время при создании нанокompозитов используются частицы размером менее 1 мкм.

*Наиболее распространенных дисперсные минеральные наполнители:* карбонат кальция (мел,  $\text{CaCO}_3$ ), каолин (белая глина — гидратированный силикат алюминия), тальк (гидратированный силикат магния), диатомит, аэросил, осажденный диоксид кремния, полевошпат и нефелин, порошкообразные оксиды металлов (алюминия, железа, свинца, титана,

цинка, циркония и др.) и разнообразные *соли* (сульфаты, сульфиды, фториды и др.).

*Порошкообразных наполнителей органического происхождения:* древесная мука и углеродные материалы (сажа, графит, кокс).

Из *материалов растительного происхождения* для наполнения пластмасс используется измельченная лузга подсолнечника, рисовая шелуха, кукурузные початки, стебли сахарного тростника и другие виды отходов сельского хозяйства, крахмал.

Хитин – основа панцирей большинства ракообразных (раки, креветки, лангусты и др.). По своей химической структуре близок к целлюлозе и только ей уступает по распространенности в природе. На основе хитина в результате его деацетилирования при обработке щелочью получается хитозан, содержащий помимо гидроксильных в каждом глюкозидном звене одну аминогруппу.

Металлические порошки: медь, алюминий, железо, бронза, олово, серебро, свинец, цинк.

Соли: дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), нитрид, оксид сурьмы,

***Классификация армирующих элементов*** (слайд 66-68). В качестве армирующих элементов используют высокопрочные волокна, длина которых превышает критическую. Армирующие волокна должны удовлетворять комплексу эксплуатационных и технологических требований. *Эксплуатационные требования:* по прочности, жесткости, плотности, химической стойкости и пр. *Технологических требования:* возможность создавать высокопроизводительные процессы переработки ПКМ в изделия, совместимость волокон с матричными полимерами для достижения прочной связи вплоть до момента разрушения армирующего наполнителя.

Волокна классифицируются по структуре распределения (однонаправленные непрерывные, тканые, объемного плетения и нетканые) и по виду волокнообразующего материала (стекло-, углеродо- и

органоволокнистые, а применяемые для специального армирования – на боро-, базальто- и керамиковолокнистые.).

***Стеклонаполненные композиционные материалы*** (слайд 69-70). Рассматриваются способы получения, свойства и применение стеклосодержащих композитов. Свойства определяются составом, влиянием окружающей среды (особенно влаги), температурой испытания, условиями переработки и структурой армирующего наполнителя. Для изготовления стеклопластиков конструкционного и электротехнического назначения широко применяют стекловолокна алюмоборосиликатного состава с небольшим содержанием щелочных элементов, обладающие одновременно высокой прочностью и высокими показателями объемного поверхностного электросопротивления. Для изготовления высокопрочных и высокомодульных стеклопластиков применяют волокна из стекла магнезиального алюмосиликатного состава. Для изготовления пластиков с повышенной кислотостойкостью меняют щелочные составы, для радиационной защиты – свинцовое стекло. Для пластиков высокотемпературного и теплозащитного назначения предназначены тугоплавкие волокна (кремнеземные, кварцевые и базальтовые). Применяют также *стеклянные ткани, стеклянные ленты, нетканые ленты — стекломаты (стеклохолсты)*.

***Высокосиликаты и кварц.*** Рассматриваются способы получения, свойства и применение.

***Углеволокнистые армирующие элементы*** (слайд 72, 73). Углеродные волокна (УВ) для армирования углепластиков (карбопластиков, углеродопластиков) стали применяться с конца 1960-х гг., когда авиакосмической промышленности потребовались новые виды АП не только прочных, но и высокомодульных, легких, химически инертных, тепло- и электропроводных, стойких к усталостным нагрузкам и ползучести, с низким тепловым коэффициентом линейного расширения и высокой

радиационной стойкостью. В составах углепластиков УВ сочетаются с матрицами, прежде всего из отверждающихся синтетических смол (эпоксидной, полиимидной, фенолоформальдегидной, полиэфирными), но существует немало композиций и на основе термопластичных матриц. Сравнительно небольшие количества УВ используются для создания углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ). Кроме того, проводятся исследования по применению этих волокон и для армирования металлических, керамических и стеклянных матриц.

Существует несколько видов углеволокнистых армирующих элементов: непрерывно ориентированные УВ в составе нитей и жгутов предназначены для изготовления углеволокнитов, тканые ленты и ткани, дискретные. УВ используются в основном для переработки в составах углепрессволокнитов или литевых композиций

Армирующие нити классифицируются на: высокопрочные ( $\sigma_r \approx 3$  ГПа); сверхвысокопрочные ( $\sigma_r \approx 4,5$  ГПа); низко модульные ( $E < 100$  ГПа); • средне модульные ( $E \approx 200-320$  ГПа); • высоко модульные ( $E > 350$  ГПа); • ультравысоко модульные ( $E > 450$  ГПа).

*Углеродные армирующие ленты* получают на стадии ткачества исходных полиакрилонитрильных нитей, которые затем подвергаются окислению, карбонизации и графитизации с образованием конечного углеродного продукта. Кроме того, разработаны углеволокнистые ткани на основе нити марки (вискум), их отличают высокая устойчивость в бескислородной среде к воздействию температур до  $3000^\circ \text{C}$ .

**Арамидные волокна** (слайд 74-77). В качестве армирующих наполнителей для конструкционных органопластиков в нашей стране применяются четыре типа армирующих волокон: СВМ, армос, терлон и русар, отличающиеся по своему химическому составу и структуре от наиболее распространенного зарубежного арамидного волокна марки кевлар, выпускаемого для тех же целей американской фирмой Дюпон. Свое название арамидные волокна

получили за то, что их основу составляют ароматические (бензольные) кольца, соединенные амидными связями. В процессе совершенствования рецептур и технологии изготовления прочность волокон выросла до 5,5 ГПа (армос), а модуль упругости – до 180 ГПа (кевлар 149), что сделало арамидные волокна весьма востребованными для изготовления современных армированных пластиков. Для отечественных арамидных волокон характерно полное сохранение размеров при температурах до 300° С и прочности на уровне 95 % при 250° С или 60-70 % при 300° С от первоначальной величины. Они химически устойчивы к воздействию различных реагентов кислотного характера и органических растворителей.

***Бороволокнистые армирующие элементы*** (слайды 78-89). Борные волокна представляют собой непрерывные моноволокна диаметром до 200 мкм и неоднородные по сечению. Неоднородность обусловлена методом изготовления волокон, основанным на химическом осаждении бора при высокой температуре (1400 К) из смеси газов  $BCl_3 + H_2$  на вольфрамовую подложку. Помимо моноволокон, сматываемых на катушки, в промышленности выпускают комплексные армирующие наполнители в виде лент шириной от 5 до 50 см, основа которых образуется параллельно направленными борными волокнами толщиной от 90 до 110 мкм. В виде тканей или других плетеных структур бороволокнистые армирующие структуры практически не применяются.

***Базальтоволокнистые армирующие элементы.*** Первоначально интерес к базальтовым волокнам, как к ближайшим аналогам стекловолокон, был проявлен в 1970-х гг. в связи с возможностью их изготовления из готового природного сырья горных пород. В настоящее время разработаны семь видов базальтовых волокон: ультра-, микро-, супертонкие, тонкие, утолщенные, непрерывные, грубые. Все они отличаются высокой температуростойкостью от -260 до 700° С и устойчивостью в агрессивных средах. Базальтовые волокна, по сравнению со стекловолокнами, широко

применяемыми для армирования пластиков, имеют на 10+22% больший модуль упругости и более высокую термостойкость, сохраняя прочность при растяжении при 400° С на 81,8% от исходной против 52% у стекловолокна.

При равной водостойкости борные волокна значительно устойчивее к воздействию щелочных и кислых сред. К тому же адгезионное взаимодействие базальтовых волокон с эпоксидными, фенольными и имидными связующими выше, чем у стекловолокон предположительно из-за присутствия оксида железа.

**Керамические волокна**, используемые для армирования пластиков изготавливают из тугоплавких, прочных и химически стойких материалов, например,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , и карбидов типа SiC. Волокна из  $Al_2O_3$  получают вытяжкой или экструзией из металлоорганических растворов или суспензий с последующей термообработкой. Аналогичным образом получают тонкие (диаметром 10-12 мкм) волокна из SiC. Волокна большего диаметра (100 мкм) получают (подобно борным волокнам) осаждением SiC на тонкое вольфрамовое или углеродное волокно. Главное достоинство армирующих керамических волокон — высокий модуль упругости и повышенная прочность (особенно при испытаниях на сжатие). Кроме того, отличительными особенностями этих волокон являются термостойкость при 1400-1650° С и высокая химическая стойкость.

**Асбестовое волокно.** Асбест представляет собой природный материал волокнистой структуры, относящийся к группе гидратированных силикатов. Существуют два класса минералов, из которых получают асбестовые волокна: хризотилы и амфиболы, в первую очередь антофиллит. Они заметно отличаются по своим свойствам: первый характеризуется повышенными механическими показателями, второй — повышенной химической стойкостью. Прочность хризотилового волокна достигать 850-900 МПа.

**Металлические волокна** (слайд 91-94 ). Из большого числа металлов и сплавов возможно изготовление волокон диаметром 4-50 мкм с высокими

механическими характеристиками, не уступающими по удельным показателям ряду минеральных волокон. Методы получения волокон достаточно многочисленны – от классической протяжки до экструзии расплава. На основе металлических волокон вырабатывается широкий ассортимент текстильных и тканых изделий с различной плотностью, изотропией и т. д. (жгуты, маты, ткани, сетки и т. д.). Основное направление использования металлических волокон в полимерных композитах связано с возможностью реализации присущих им теплопроводности, электропроводности и магнитных свойств при создании материалов со специальными свойствами. Наибольшее распространение из металлических волокон получили титан, нержавеющая сталь, медь, алюминий, никель.

***Полимерные нанокомпозиты*** (слайды 95-123) – это полимеры или сополимеры, включающие наночастицы. Согласно терминологии, принятой IUPAC (Международный союз теоретической и прикладной химии), наночастицы - это частицы, размеры которых не превышают 100 нанометров. Наночастицу, которую иногда называют нанообъектом, принято рассматривать как конгломерат или агрегатную частицу, состоящую примерно из тысячи атомов и являющуюся частью объемного материала. Наночастицы могут быть различной формы (например, пластины, трубки, сфероиды), но, по крайней мере, в одном измерении они должны быть от 1 до 50 нм. ПНК принадлежат к категории мультифазных систем (МФС - смеси, композиты и пены), составляющих около 95% производства пластмасс. Производство данных систем требует контролируемого смешивания, стабилизации полученного распределения наночастиц, ориентации дисперсной фазы. Из всего множества нанообъектов наиболее известными являются углеродные нанотрубки, открытые в 1991 г. Они обладают интересными оптическими, химическими и механическими свойствами, в частности, проявляют свойства великолепных полупроводников.



Основные направления в создании новых материалов: наномасштабный молекулярный дизайн полимеров, синтез дендримеров и сложных блок-сополимеров. В сфере полимеров промышленно-ориентированные разработки - это высокоактивные катализаторы для синтеза полимеров, наполненные и упрочненные наночастицами полимеры, лакокрасочные материалы для автомобилестроения. Большое внимание также привлекают материалы, получаемые включением металлических наночастиц в полимерную матрицу.

Нанокompозиты, содержащие даже 2 объемных процента минеральных наночастиц, обладают физическими характеристиками на 10-15% превышающими ненаполненные аналоги, а температура деструкции при этом повышается с 65 до 150 °С. Сфера их применения охватит такие важные отрасли промышленности, как производство средств связи, антикоррозийных покрытий толщиной 1 - 5 нм, УФ-защитных гелей, устойчивых красителей, новых огнезащитных и сверхпрочных материалов, высококачественных волокон и пленок, ультрадисперсных (0,1 мкм) порошков тяжелых металлов. Включение кобальт-железных металлических наночастиц в блок-сополимер приводит к так называемому наноэффекту, который проявляется в повышенной устойчивости материала к нагрузкам.

Приоритетные направления отечественных исследований в области нанотехнологий: углеродные наноматериалы, новые материалы и технологии для наноэлектроники, оптоэлектроники и спинтроники, органические и гибридные наноматериалы, полимеры и эластомеры, кристаллические материалы со специальными свойствами, мехатроника и микросистемная техника, композиционные и керамические материалы, мембраны и каталитические системы, биосовместимые материалы, нанодиагностика и зондовые методы. В числе наноматериалов компании "Bayer Material Science", имеющих в продаже, - силиконовые дисперсии торговой марки Disprtcoll®S. Они входят в состав однокомпонентных водных

полихлоропреновых дисперсионных связующих. Материал является безопасной для окружающей среды альтернативой клеевым системам, содержащим легколетучие органические растворители, и применяется, в частности, при настиле напольных покрытий, приклеивании подошв обуви и пенопластов. Благодаря продукту Disprtcoll®S полихлоропреновые связующие вещества обладают повышенной исходной влагостойкостью, дают возможность обрабатывать свежесклеенные детали, что повышает производительность производственного процесса. Кроме того, повышается термическая устойчивость клеевого соединения.

Компания Mitsui Chemicals планирует производить новые эластомеры в нанодиапазоне. Результатом является баланс прозрачности, термостойкости, упругости и эластичности нано-эластомеров. Новые эластомеры могут улучшить ударную нагрузку полимерного материала и сопротивление царапанью.

Английская компания JR Nanotech разрабатывает упаковочный материал с добавлением наночастиц серебра для лучшего хранения скоропортящихся пищевых продуктов. Нано-серебро однородным слоем распыляется на различные виды полимерных материалов. Его можно наносить на поверхность, соприкасающуюся с пищей, например, на стенки пищевой упаковки или разделочные доски.

*Нанокompозиты из керамики и полимеров.* Основные структурные параметры наночастиц — их форма и размер. Физические, электронные и фотофизические свойства наночастиц и кластеров, определяемые их чрезвычайно высокой удельной поверхностью значительно отличаются от свойств как блочного материала, так и индивидуальных атомов. Например, если размер кристалла золота уменьшается до 5 нм, температура плавления снижается на несколько сотен градусов. Очень многие материалы — от металлов и керамик до биоминералов — состоят из неорганических наночастиц (оксидов, нитридов, карбидов, силикатов и т.д.). Они входят в

состав и нанокомпозитов на основе различной керамики и полимеров. Несовместимость этих неорганических и органических компонентов — основная проблема, которую приходится преодолевать при создании таких материалов.

*Материалы с сетчатой структурой.* Наибольшие успехи в получении этих нанокомпозитов были достигнуты золь-гель технологией, в которой исходными компонентами служат алкоголяты некоторых химических элементов и органические олигомеры. Нанокомпозиты на основе полимеров и керамик сочетают в себе качества составляющих компонентов: гибкость, упругость, перерабатываемость полимеров и характерные для стекол твердость, устойчивость к износу, высокий показатель светопреломления. Они найдут применение в качестве специальных твердых защитных покрытий и для неорганических, и для полимерных материалов, а также как световоды и оптические волокна, адгезивы, адсорбенты и, наконец, как новые конструкционные материалы.

*Слоистые нанокомпозиты.* Их тоже создают на основе керамики и полимеров, но с использованием природных слоистых неорганических структур, таких как монтмориллонит, которые встречаются, например, в глинах. Слой монтмориллонита толщиной ~1 нм в ходе реакции ионного обмена насыщают мономерным предшественником с активной концевой группой (ε-капролактамом, бутадиеном, акрилонитрилом или эпоксидной смолой), а затем проводят полимеризацию.

*Полимеры и углеродные нанотрубки.* Плотность нанотрубок в пять раз меньше, чем у стали, а прочность в десятки раз больше. Если между соседними волокнами полимерного материала поместить нанотрубку, связав её с ними углеводородными цепочками, то прочность данного участка материала приблизится к прочности нанотрубки. Добавка нанотрубок в 0,6% даёт 4-х кратное увеличение прочности полимера.

*Наноконпозиты, содержащие металлы или полупроводники.* Эти материалы привлекают внимание прежде всего уникальными свойствами входящих в их состав кластеров, образованных разным количеством атомов металла или полупроводника — от десяти до нескольких тысяч. Типичные размеры такого агрегата — от 1 до 10 нм, что соответствует огромной удельной поверхности. Подобные наночастицы отличаются по свойствам (ширине полосы поглощения, спектральным характеристикам, электронному переносу) как от блочного материала, так и индивидуального атома или молекулы, причем полупроводниковые особенно сильно, даже если размер частицы достигает сотен нанометров. Так, при переходе от нанокристалла CdS к макрокристаллу от 400 до 1600°С повышается температура плавления. Нелинейные оптические свойства нанокластеров позволяют создавать на их основе управляемые светодиоды для применения в микроэлектронике и телекоммуникации. Наночастицы проявляют также суперпарамагнетизм и каталитические свойства. При использовании кластеров металлов в качестве катализаторов наночастицы стабилизируют, например, в растворе с помощью поверхностно-активных соединений или на подложке из полимерной пленки. Металлические (и полупроводниковые) нанокластеры можно приготовить по-разному: испарением или распылением металлов, восстановлением их солей и другими способами. Например, кластеры серебра, золота или палладия размером 1—15 нм могут быть диспергированы в пленку полистирола (или полиметилметакрилата) в ходе полимеризации жидкого мономера, в который предварительно осаждался металл из паров. Металлические кластеры при этом объединяются в агломераты разной величины — вплоть до нескольких десятков нанометров. Похожую структуру имеют композитные пленки, полученные одновременным осаждением паров металла и плазменной полимеризацией бензола или гексаметилдисилазана.

Сенсорный эффект. Композитная пленка с наночастицами оксида свинца проявляет очень высокую чувствительность к аммиаку, содержащемуся в атмосфере. В его присутствии электрическая проводимость пленки меняется на несколько порядков величины в области концентраций аммиака, измеряемых миллионными долями. Эти изменения обратимы: если аммиак удалить из атмосферы, проводимость пленки возвращается к исходной величине.

Наноконпозиционные материалы получают также на основе блоксополимеров, т.е. не одинаковых, а разных полимерных молекул. Соединяясь друг с другом, они образуют блок, или домен, многократно повторяющийся в полимерной цепочке. Каждый из доменов — это своеобразный реактор, в одной из микрофаз которого и возникают неорганические нанокластеры. Можно получать разные надмолекулярные структуры в зависимости от химического строения блоксополимера и его состава: ламеллярную, колончатую, кубическую, перфорированную ламеллярную.

*Молекулярные композиты.* В конце 70-х годов возникла идея создания молекулярных композитов, построенных из гибкой полимерной матрицы и жестких, тоже полимерных, волокон для обеспечения существенного улучшения механических и тепловых свойств материала при сохранении его перерабатываемости. Молекулярные композиты уже получали, смешивая растворы жесткого и гибкого полимеров (например, полибензо-бис-тиазола и полибензимидазола в метансерной кислоте или полиамидимида и полиэфиримида в диметилацетамиде), которые образовывали тройную систему. Оказалось, что фазовое поведение полимерного раствора жестких стержнеобразных молекул и гибкой матрицы зависит от энтропии смешения. Если она неблагоприятна, происходит микрофазное разделение компонентов, резко уменьшается объемная доля изотропной фазы по мере увеличения длины жестких сегментов. В результате значительно снижается

усиливающий эффект по сравнению с системами, в которых жесткие сегменты распределены по всему объему матрицы случайным образом.

#### **Ссылки на заимствованные материалы.**

1. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии. /под ред. А.А. Берлина.. СПб.: Профессия, 2009. 560 с.
2. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г.. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технологии. М.: Изд-во Интеллект, 2009. 352 с.
3. Справочник по композиционным материалам /Под ред. Дж. Любина, пер. с англ. Под ред. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта Под ред. Б.Э. Геллера.М.: Машиностроение, 1988. 448 с.
4. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. М.: Химия, 1978..310 с.
5. Часть использованных в учебных целях по данной теме иллюстративных материалов опубликована одновременно на ряде широкодоступных сайтов Интернета, по этой причине установить их авторство на данный затруднительно.

Презентация конспекта лекций прилагается в электронном и печатном виде.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля слушателей.**

1. Каковы основные предпосылки современного скачка развития представлений о наноразмерных объектах?
2. Каковы основные определения и классификация полимерсодержащих наноматериалов.
3. Представление о критической длине волокон, используемых в композиционных материалах.
4. Какие вы знаете отверждающиеся связующие композиционных пластиков на основе ненасыщенных сложных эфиров?

5. Какие основные виды физико-механических свойств волокнитов вы знаете?
6. Каковы способы модификации поверхности порошкообразных наполнителей?
7. Каковы стадии получения, свойства и применение карбоволокнитов?
8. Как влияет отслаивание полимера от наполнителя на прочность композиции?
9. Каковы стадии получения, свойства и применение бороволокнитов?
10. Каковы способы и цель обработки поверхности волокон? Виды замасливателей и аппретов?
11. Что такое премиксы, препреги?
12. Каковы стадии получения, свойства и применение стекловолокнитов?
13. Как влияет направление механического воздействия на прочность и модель волокнитов?
14. Как зависят свойства наполненных полимеров от формы и концентрации частиц наполнителя?
15. Каковы стадии получения, свойства и применение органоволокнитов?
16. Каково влияние адгезии на границе раздела наполнитель – полимер на свойства композиционных наноматериалов?
17. Каковы стадии получения, свойства и применение карбоволокнитов?
18. Какова классификация порошкообразных наполнителей? Способы их получения.
19. Представление об ударной прочности, пределе прочности волокнитов.
20. Каковы причины повышения механических свойств полимеров при введении в них наполнителей?
21. Каковы стадии получения, свойства и применение олигоциклических связующих?
22. Каковы стадии получения, свойства и применение стекловолокнитов?

23. Сдвиговая и трансверсальная прочность однонаправленных волокнистых композиций.
24. Каковы стадии получения, свойства и применение эпоксидных связующих?
25. Что такое остаточные напряжения в изделиях из композиционных материалов? Методы их определения.
26. Каковы стадии получения, свойства и применение связующих, отверждающихся по поликонденсационному механизму?
27. Какие основные виды наноматериалов вы знаете?
28. Приведите примеры наноустройств с указанием их назначения.
29. Каковы преимущества гетерогенных полимерных композиций по сравнению с гомогенными полимерами:
30. Как определяют оптимальные размеры частиц наполнителя?
31. Как оценивают оптимальную степень наполнения?
32. Что называют гибридными и градиентными армированными пластиками с регулируемыми механическими свойствами? Приведите примеры..
33. Каковы стадии получения, свойства и применение полибутиadiеновых смол?
34. Каковы стадии получения, свойства и применение термостойких смол?
35. Каковы стадии получения, свойства и применение стеклонaполненных полимерных композиционных материалов?
36. Что вы знаете о классификации армирующих элементов?
37. Каковы стадии получения, свойства и применение высокосиликатов?
38. Каковы стадии получения, свойства и применение боробольфрамoвых волокон?
39. Каковы стадии получения, свойства и применение бороуглеродных волокон?



40. Каковы стадии получения, свойства и применение карбид-кремниевых волокон?
41. Каковы стадии получения, свойства и применение арамидных волокон?
42. Каково влияние свойств связующего на прочность волокон в композиционных материалах?
43. Каковы стадии получения, свойства и применение нанокompозитов из керамики и полимеров
44. Каковы стадии получения, свойства и применение материалов с сетчатой структурой?
45. Каковы стадии получения, свойства и применение слоистых нанокompозитов?.
46. Примеры использования полимеров и углеродных нанотрубок в композиционных материалах.
47. Каковы стадии получения, свойства и применение нанокompозитов, содержащих металлы или полупроводники
48. Каковы стадии получения, свойства и применение нанокompозиционных материалов получают на основе блоксополимеров?
49. Каковы стадии получения, свойства и применение молекулярных композитов.
50. Как проводят отверждение смол аминами?
51. Какие типы ненасыщенных полиэфирных смол вы знаете?
52. Как отверждают ненасыщенные полиэфирные смолы?
53. Как классифицируют карбоволокониты?
54. Перечислите основные факторы, определяющие физико – механические свойства арамидных волоконитов.
55. Какова химическая структура арамидных волокон?
56. Каковы перспективы использования наноматериалов и технологий в медицине?
57. Перечислите классы матриц композиционных материалов.

58. В чем отличие термореактивных матриц от термопластичных?

Приведите примеры.

59. Каковы виды и степень ориентации наполнителя в композициях?

60. Каковы основные микромеханические аспекты взаимодействия компонентов ПКМ?

Рекомендуемая литература (допускаются ссылки на материалы в Интернете).

I. Основная.

1. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии. /под ред. А.А. Берлина.. СПб.: Профессия, 2009. 560 с.
2. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г.. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технологии. М.: Изд-во Интеллект, 2009. 352 с.
3. Справочник по композиционным материалам /Под ред. Дж. Любина, пер. с англ. Под ред. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта Под ред. Б.Э. Геллера.М.: Машиностроение, 1988. 448 с.
4. Ричардсон М. Промышленные полимерные композиционные материалы./Под ред. Бабаевского П.Г. М.: Химия, .1980. 472 с.
5. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. 2006. 624 с.
6. Функциональные наполнители для пластмасс. / Под ред. Марино Ксantos, пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. М.: Изд-во Научные основы и технологии. 2010. 462 стр.
7. А.А. Клёсов. Древесно-полимерные композиты. Пер. с англ. М.: Изд-во Научные основы и технологии. 2010. 736 стр.
8. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы , 2-е издание. М.: Изд-во Научные основы и технологии, 2008. 822 с.

9. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. М.: Изд-во Научные основы и технологии, 2009. 658 с.
10. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы М.: Изд-во Научные основы и технологии, 2009. 660 с..
11. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. М.: Химия, 1978..310 с.
12. Берлин А. А., Вольфсон С. А., Ошмян В. Г., Ениколопов Н. С. Принципы создания композиционных полимерных материалов. М: Химия, 1990. 238 с.

#### *Дополнительная*

1. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ./ Под ред. Ф. Гроссмана, пер. с англ. Под ред. В.В. Гузеева. М.: Изд-во Научные основы и технологии, 2009. 608 с.
2. Композиционные материалы. Разрушение и усталость./ Под ред. Л. Браутмана. М.: Мир, 1978. Т. 5. 483 с. I
3. Композиционные материалы. Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др. Под общей редакцией В.В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. М: Машиностроение, 1990. 512 с.
4. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. 407 с.
5. Тарнопольский Ю. М., Жигун И. Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы. М.: Машиностроение, 198?. 223 с.
6. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2006. 334 с.
7. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера, 2006. 223 с.

8. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.Э. Эпоксидные полимеры и композиции. М.: Химия, 1982. 232 с.
9. Наполнители для полимерных композиционных материалов. / Под ред. Г.С. Каца, Д.В. Микевски., пер. с англ. М.: Химия, 1981. 736 с.
10. Ферричио Т.Х. Основные примеры выбора и использования дисперсных наполнителей / Пер с англ. М.: Химия, 1979. 150 с.
11. Промышленные полимерные композиционные материалы / Под ред. М. Ричардсона, пер. с англ. М.: Химия, 1980 472 с.
12. Кацнельсон М.Ю., Балаев П.А. Полимерные материалы. Справочник. Л.: Химия, 1982. 317 с.
13. Армированные пластики / В. А. Бунаков, Г. С. Головкин, Г. П. Машинская и др./ Под ред. Г. С. Головкина, В.И. Семенова М.: Из-во МАИ, 1997. 404 с.
14. Композиционные материалы: Справочник / Л. Р. Вишняков, Т. В. Грудина, В. Х. Кадыров и др.; Под ред. Д.М. Карпиноса. Киев: Наукова думка, 1985. 592 с.
15. Монокристалльные волокна и армированные ими материалы: Пер. с англ. Б. Г. Арабея, Е. И. Гиваргазова, С.Т. Милейко / Под ред. А. Т. Туманова. — М.: Мир, 1973. 464 с.
16. Углеродные волокна: пер. с япон. / Под ред. С. Симамуры. — М.: Мир, 1987. 304 с.
17. Халиулин В.И., Шипаев И.И. Технология производства композитных изделий: Учебное пособие. Казань: Изд-во КГТУ, 2003. 368 с.
18. Интернет – ресурсы собраны в одном файле на диске.

## **2. УММ для практических занятий.**

### **Лабораторные занятия.**

Трудоемкость 6 часов на 1 работу. Объем аудиторных часов – 4.

### **Выработка компетенций у обучающихся.**

Самостоятельная подготовка к сдаче теоретического минимума, проведение экспериментальной части работы и обсуждение полученных результатов формируют у обучаемых следующие общекультурные и профессиональные компетенции:

- самосовершенствование (сознание необходимости, потребность и способность учиться);
- способность работать самостоятельно;
- способность к познавательной деятельности;
- способность использовать законы и методы математики и физики при решении профессиональных задач;
- способность применять на практике навыки проведения и описания экспериментальных исследований;
- способность решать задачи профессиональной деятельности в составе научно-исследовательского коллектива.

**С целью проверки** уровня формирования вышеуказанных компетенций проводится семинарское занятие. Семинар включает в себя вопросы для контроля самостоятельной подготовки к сдаче теоретического минимума по теме работы.

### **3. Блок текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.**

Результаты (освоенные общие или специальные компетенции)	Основные показатели оценки результата	Формы и методы контроля и оценки	Уровень освоения учебного результата материала
Овладение основными понятиями и законами, реологии	Правильные ответы не менее чем на	Тесты	Продуктивный

жидкокристаллических наносистем, методами их приготовления. Овладение экспериментальными методами определения температур фазовых ЖК переходов, энтальпии активации вязкого течения. Расчет основных реологических характеристик жидкокристаллических наносистем	80 % тестовых вопросов		
---	------------------------	--	--

### **Тестовые вопросы:**

#### **Тема 1. Определения и классификация полимерных композитов.**

##### **Механизм взаимодействия компонентов ПКМ**

.Композиционными называют материалы: А. гомогенные, Б. однородные, В. гетерогенные. Г. однокомпонентные.

Ответ: В.

2.Матрица не может быть: А. металлической, Б. керамической, В. углеродной, Г. газовой.

Ответ: Г.

3. Активный наполнитель: А. повышает свойства композиции, Б. не повышает свойства композиции, В. вначале повышает, потом понижает, Г. вначале понижает, потом повышает.

Ответ: А.

4. Композиты по природе матрицы не делятся на: А. термореактивные, Б. термопластичные, В. гибридные, Г. пластинчатые.

Ответ: Г.

5. По закону Гука, механическое напряжение и деформация: А. прямо пропорциональны, Б. обратно пропорциональны, И. не зависят друг от друга. Г. вначале зависят, потом нет.

Ответ: А.

6. Максимальная степень наполнения  $\varphi_{в, \max}$  в идеальном случае отвечает такой плотности упаковки волокон, при которой: А. они не касаются друг друга по образующим цилиндрических поверхностей. Б. касаются, В. вначале касаются, потом нет, Г. вначале не касаются, потом касаются.

Ответ: Б.

7. С увеличением адгезии между наполнителем и матрицей прочность: А. уменьшается, Б. возрастает, Г. вначале уменьшается, потом возрастает, Г. вначале возрастает, потом уменьшается.

Ответ: Б.

8. Остаточные напряжения в композиции: А. способствуют ее длительной эксплуатации, Б. не способствуют, В. не влияют, Г. вначале способствуют, потом нет.

Ответ: Б

## **Тема 2. Ненасыщенные полиэфирные смолы**

9. В ненасыщенных олигоэфирах: А. содержатся двойные связи, Б. не содержатся двойные связи, Г. содержатся только одинарные связи, Г. содержатся только кратные связи.

Ответ: А.

10. Отверждению ненасыщенных олигоэфирных смол не способствует: А. перекись бензоила, Б. кислород, В. гидропероксид кумола, Г. третичные амины

Ответ: Б.

11. Для повышения огнестойкости в полималеинатные связующие не вводят: А.  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , Б. хлорсодержащие органические соединения, В. фосфорсодержащие органические соединения, Г. карбиды.

Ответ: Г.

12. Олигоэфиракрилаты не получают поликонденсацией: А. многоатомных спиртов, Б. предельных алифатических дикарбоновых кислот, В. непредельных алифатических кислот акрилового ряда, Г. полиэтиленполиаминов.

Ответ: Г.

13. Форполимеры эфиров аллилового спирта не получают полимеризацией: А. сложных эфиров аллилового спирта и фталевой, Б. сложных эфиров аллилового спирта и изофталевой кислот, В. сложных эфиров аллилового спирта и себаценовой и адипиновой кислот.

Ответ: В.

14. Не ингибируют свободнорадикальную полимеризацию полиэфирных смол: А. ионы железа, Б. пероксид кумила, В. ионы меди, Г. кислород.

Ответ: Б.

### **Тема 3. Смолы на основе сложных диэфиров винилкарбоновых кислот.**

15. ДВК получают взаимодействием метакриловой или акриловой кислот с олигомерной эпоксидной смолой. При этом выделяются побочные продукты: А. вода, Б. перекись водорода, В. ничего не выделяется, Г. соляная кислота.

Ответ: В.

16. Процесс отверждения ДВК включает в себя стадию: А. консервирования, Б. ускорения, В. замедления, Г. иницирования.

Ответ: Г.

17. В состав препрегов ДВК не входит: А. «скрытый» инициатор, Б. пигмент, В. метикарбинол, Г. антиадгезионная смазка.

Ответ: В.



18. Чем больше молекулярная масса эпоксидных блоков, тем прочность и эластичность смолы: А. ниже, Б. выше, В. не изменяется, Г. изменяется синусоидально.

Ответ: Б.

19. При уменьшении сложноэфирных групп в ДВК устойчивость смол к гидролизу: А. уменьшается, Б. возрастает, В. не изменяется, Г. изменяется по параболе.

Ответ: Б.

#### **Тема 4. Полибутадиеновые смолы.**

20. Для увеличения реакционной способности смолы при различных химических превращениях в ее макромолекулы не вводят: А. гидроксильные группы, Б. карбоксильные группы, В. метильные группы, Г. изоцианатные группы.

Ответ: В.

21. Какая стадия не реализуется при отверждении полибутадиеновых смол: А. высокотемпературное плавление, Б. низкотемпературное гелеобразование, В. высокотемпературное отверждение, Г. термическая циклизация.

Ответ: А.

22. Устойчивость полибутадиеновых смол к действию кислот и щелочей обусловлена: А. наличием двойных связей, Б. отсутствием эфирных связей, В. отсутствием циклов, Г. наличием метиленовых групп.

Ответ: Б.

#### **Тема 5. Эпоксидные смолы.**

23. Эпоксидные смолы являются одними из лучших видов связующих из-за: А. хорошей адгезией к наполнителю, Б. плохой адгезией к наполнителю, В. нейтрального отношения к наполнителю, Г. из-за растворения в наполнителе.

Ответ: А.

24. Чем больше ароматических колец входит в состав эпоксидной смолы, тем ее термостабильность: А. ниже, Б. выше, В. не изменяется, Г. вначале растёт, потом падает.

Ответ Б.

25. При замене ароматических фрагментов молекул алифатическими эластичность и удлинение отвержденной смолы: А. не изменяются, Б. уменьшаются, В. возрастают, Г. изменяются с минимумом.

Ответ: В.

26. При замене ароматических фрагментов молекул циклоалифатическими эластичность и удлинение отвержденной смолы: А. не изменяются, Б. уменьшаются, В. возрастают, Г. изменяются с минимумом.

Ответ: В.

27. Увеличение плотности «сшивок» в смоле ведет: А. к повышению температуры термодеструкции, Б. к понижению температуры термодеструкции, В. ни к чему не ведет, Г. вначале к уменьшению, потом к росту.

Ответ: А.

28. Увеличение плотности «сшивок» в смоле ведет: А. к повышению температуры стеклования, Б. к понижению температуры стеклования, В. ни к чему не ведет, Г. вначале к уменьшению, потом к росту.

Ответ: А.

29. Химическая стойкость отвержденного материала с увеличением плотности «сшивок»: А. понижается, Б. повышается, В. не изменяется, Г. изменяется по кривой с минимумом.

Ответ: Б.

30. К кислотам Льюиса не относится: А. трехфтористый бор, Б. четыреххлористое олово, В. метан, Г. комплекс трехфтористого бора с водой.

Ответ: В.

31. Дициандиамин отверждает эпоксидные олигомеры: А. на холоду, Б. при комнатной температуре, В. выше 150° С, Г. не отверждает.

Ответ: В.

#### **Тема 6. Термостойкие смолы.**

32. К термостойким относят смолы, способные выдержать на воздухе без заметных изменений структуры продолжительный нагрев свыше: А. 100° С, Б. 150° С, В. 200° С, Г. 300° С.

Ответ: Г.

33. Главный недостаток композиционных материалов на основе высокомолекулярных полиимидов: А. легкость, Б. прочность, В. пористость, Г. шершавость.

Ответ: В.

34. При получении ароматических полиимидов не выделяется: А. вода, Б. спирт, В. аммиак, Г. вода и спирт.

Ответ: В.

35. Наибольшая термоокислительная стабильность полиимидных материалов достигается: А. при полной циклизации всех амидных групп, Б. при неполной циклизации всех амидных групп, В. в отсутствии циклизации, Г. при частичной деструкции.

Ответ: А.

36. Полиамиды получают: А. полимеризацией, Б. циклизацией, В. поликонденсацией, Г. этерификацией.

Ответ: В.

37. Термостойкость при циклизации промежуточных амидокислотных групп в имидные кольца: А. повышается, Б. понижается, В. не изменяется, Г. изменяется с максимумом.

Ответ: А.

#### **Тема 7. Стеклонаполненные полимерные композиционные материалы**

38. Прочность стекловолокон при наличии на их поверхности влаги: А. возрастает, Б. уменьшается, В. не изменяется, Г. изменяется с максимумом.

Ответ: Б.

39. При снижении температуры прочность алюмоборосиликатных волокон: А. не изменяется, Б. увеличивается, В. уменьшается, Г. уменьшается по экспоненте.

Ответ: Б.

40. При длительном статическом нагружении прочность стекловолокон: А. не изменяется, Б. увеличивается, В. уменьшается, Г. возрастает по экспоненте.

Ответ: В.

41. При наличии дефектов на поверхности волокон прочность: А. не изменяется, Б. увеличивается, В. уменьшается, Г. возрастает по экспоненте.

Ответ: В.

42. При вакуумировании прочность: кварцевых волокон: А. не изменяется, Б. увеличивается, В. уменьшается, Г. уменьшается по экспоненте.

Ответ: Б.

43. Замасливатель, которым соединяют стекловолокна в первичную нить: А. предотвращает склеивание нитей, Б. облегчает склеивание нитей, В. не влияет на склеивание нитей, Г. влияет с максимумом.

Ответ: А.

44. Какого этапа нет при изготовлении изделий из стекловолокнистых: А. создание заготовки изделия, Б. разработка клеевого состава, В. отверждение связующего и фиксация формы, Г. дополнительная обработка изделия.

Ответ: Б.

45. Стекланный наполнитель с заранее нанесенным на него связующим называется: А. премиксом, Б. препрегом, В. формиксом, Г. микспрегом.

Ответ: Б.

46. Наибольшую прочность композиции обеспечивает укладка волокон: А. параллельная, Б. перпендикулярная, В. угловая, Г. неупорядоченная.

Ответ: А.

47. При упрочнении металлических конструкций однонаправленными стекловолокнистыми масса стальной конструкции: А. возрастает. Б. уменьшается, В. не изменяется, Г. изменяется с максимумом.

Ответ: Б.

48. Связующее, находящееся на стадии олигомеров, или смесь олигомеров с мономером, или раствор полимер в мономере называется: А. премиксом, Б. препрегом, В. формиксом, Г. микспрегом.

Ответ: А.

49. При повышении степени наполнения высокодисперсными порошками с малой поверхностной энергией (гидроксид кальция, доломит) до 55 % усадка композиции: А возрастает, Б. уменьшается, В. не изменяется, Г. изменяется с максимумом.

Ответ: Б.

50. Введение в стекловолокнит порошков талька и слюды водостойкость: А понижают, Б повышают, В. не изменяют, Г. изменяют с максимумом.

Ответ: Б.

51. Введение в стекловолокнит порошков талька и слюды диэлектрические свойства: А повышают, Б. понижают, В. не изменяют, Г. изменяют с максимумом.

Ответ: А.

### **Тема 8. Высокосиликаты и кварц.**

52. Стекловолокна с содержанием  $\text{SiO}_2 < 65 \%$  подвергают обработке горячей кислотой для: А. изменения цвета, Б. удаления примесей, В. растворения, Г. набухания.

Ответ: Б.

53. Основным сырьем для производства волокон из высокосиликатов является: А. нефелин, Б. боксит, В. песок, Г. мел.

Ответ: В.

54. Высокосиликаты и кварц: А. обладают большим сопротивлением тепловому удару, Б. не обладают большим сопротивлением тепловому удару, В. обладают небольшим сопротивлением тепловому удару, Г. вообще не обладают сопротивлению тепловому удару.

Ответ: А.

55. Борные волокна не получают из расплава фильерным способом из-за: А. низкой температуры плавления, Б. высокой температуры плавления, В. малого диаметра фильер, Г. большого диаметра фильер.

Ответ: Б.

56. Плотность боровольфрамового волокна по мере уменьшения содержания вольфрама: А. уменьшается, Б. увеличивается, В. не изменяется, Г. вначале возрастает, потом уменьшается.

Ответ: А.

57. Борные волокна при механическом воздействии: А. разрушаются пластично, Б. разрушаются хрупко, В. не разрушаются, Г. вначале хрупко, потом пластично.

Ответ: Б.

58. На борные волокна наносят тугоплавкие покрытия из карбида кремния, карбида бора для предотвращения: А. окислительной деструкции, Б. реакций восстановления, В. растрескивания, Г. окрашивания.

Ответ: А.

59. Число борных волокон в единице объема пластика по сравнению со стекло- и карбоволокнами: А. больше, Б. такое же, В. меньше, Г. много больше.

Ответ: В.

60. Для уменьшения падения прочности борного волокна его основу покрывают: А. пиролитическим графитом, Б. карбидом кремния, В. карбонатами, Г. алюмосиликатами.

Ответ: А.

61. Для повышения модуля упругости бороуглеродного волокна объемная доля бора должна: А. уменьшаться, Б. не изменяться, В. возрастать, Г. вначале возрастать, потом уменьшаться.

Ответ: В.

62. Предел прочности при растяжении борвольфрамового волокна с уменьшением толщины внешнего слоя: А. может возрастать, Б. может уменьшаться, В. может не изменяться, Г. может изменяться с минимумом.

Ответ: А.

63. Включение в борвольфрамовые волокна карбонизированных частиц, окиси вольфрама, хлорида ртути число дефектов: А. уменьшает, Б. увеличивает, В. не изменяет, Г. вначале уменьшает, потом увеличивает.

Ответ: Б.

64. Образование кольцевых радиальных трещин в борвольфрамовом волокне прочность: А. снижает, Б. не снижает, В. повышает, Г. вначале уменьшает, потом увеличивает.

Ответ: А.

65. Высокие механические свойства углеродных волокон обусловлены: А. анизотропией механических свойств кристаллов графита, Б. изотропией механических свойств кристаллов графита, В. энантиотропией механических свойств кристаллов графита, Г. аллотропией механических свойств кристаллов графита.

Ответ: А.

66. Увеличение степени высокотемпературной вытяжки карбоволокон из пеков и смол их плотность и степень ориентации кристаллитов: А. понижает, Б. не изменяет, В. вначале уменьшает, потом увеличивает, Г. повышает.

Ответ: Г.

67. Пиролиз органических волокон их пористость: А. увеличивает, Б. уменьшает, В. вначале уменьшает, потом увеличивает, Г. не изменяет.

Ответ: А.

68. Карбоволокна смачиваются связующими: А. хорошо, Б. не смачиваются вообще, В. плохо, Г. иногда смачиваются, иногда нет.

Ответ: В.

69. Ворсеризация высокомодульных карбоволокон прочность при сдвиге: А. повышает. Б. понижает, В. не изменяет, Г. вначале уменьшает, потом увеличивает.

Ответ: А.

70. Искривления волокон, неизбежные в процессе формования изделий с однонаправленным расположением наполнителя в карбоволокнах, модуль и прочность: А. не изменяют, Б. снижают, В. повышают, Г. вначале уменьшают, потом увеличивают.

Ответ: Б.

71. Макромолекулам полиамида придают высокую жесткость: А. метильные группы, Б. метиленовые группы, В. ароматические кольца, Г. связи С-С.

Ответ: В.

72. Воздействие на волокно кевлар-49 электронами сравнительно высокой энергии его свойства: А. не изменяет, Б. изменяет, В. вначале изменяет, потом нет, Г. вначале не изменяет, потом изменяет.

Ответ: А.

73. При увеличении температуры теплопроводность волокна Кевлар-49: А. возрастает, Б. уменьшается, В. не изменяется, Г. вначале изменяется, потом нет.

Ответ: А.



74. Важнейшее свойство, определяющие способность связующего передавать приложенные напряжения армирующему: А. когезия, Б. аутокогезия, В. адгезия, Г. амнезия.

Ответ: В.

## **Тема 12. Полимерные нанокомпозиты**

75. Наночастицы - это частицы, размеры которых не превышают: А. 1000 нм, Б. 100 нанометров, В. 10 нм, Г. 1 нм.

Ответ: Б.

76. При остеклении с фотохромным покрытием помещения нагреваются: А. больше, Б. меньше, В. не нагреваются вообще, Г. охлаждаются.

Ответ: Б.

77. Нанотрубки жесткость и прочность пластмасс и изделий из них: А. повышают, Б. понижают, В. не изменяют, Г. вначале повышают, потом нет.

Ответ: А.

78. Добавление наночастиц серебра в упаковочный материал хранения скоропортящихся пищевых продуктов: А ухудшает, Б улучшает, В. не изменяет, Г. вначале ухудшает, потом нет.

Ответ: Б.

79. Плотность нанотрубок по сравнению с плотностью стали: А больше, Б. в пять раз меньше, В в пять раз больше, Г. одинакова.

Ответ: Б.

80. При переходе от нанокристалла CdS к макрокристаллу его температура плавления: А понижается, Б повышается, В не изменяется, Г. вначале повышается, потом понижается.

Ответ: Б.